

PERILAKU STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK

Raja Marpaung¹⁾, Djaka Suhirkam²⁾, Lina Flaviana Tilik³⁾

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Polsri
Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang

¹⁾ E-mail: Rajamarpaung@gmail.com

²⁾ E-mail: Djaka_suhirkam@yahoo.com

³⁾ E-mail: lina_tilik@yahoo.co.id

ABSTRAK

Dalam percobaan eksperimental ini pemodelan struktur dibuat dalam bentuk kantilever dengan pembebanan diujung bebasnya. Percobaan ini dilakukan dengan sistem pembebanan siklik. Pembebanan ini dilakukan pada spesimen secara terus menerus sampai spesimen mencapai keruntuhannya. Pengamatan kerusakan, beban kapasitas pada saat retak, leleh, ultimate dan failure didapat melalui hasil data percobaan.

Dari hasil percobaan ini semakin besar beban awal pada percobaan siklik, beban puncak yang dicapai spesimen semakin besar, penurunan beban puncak semakin besar, selisih penurunan disipasi energi kumulatif semakin kecil dan tingkat kerusakannya semakin berat. Pada percobaan siklik 1 disipasi energi lebih kecil dari percobaan 2 dan 3 dan disipasi energi pada percobaan 2 lebih kecil dari percobaan 3, hal ini disebabkan pada pembebanan siklik selalu mengalami pengulangan yang menguntungkan bagi specimen guna memberikan perlawanan terhadap pembebanan sewaktu perubahan beban pada setiap siklus.

Pada saat kondisi leleh, specimen tidak menunjukkan kerusakan yang berarti. Retak yang terjadi belum melebar dan sebagian besar retak tersebut hanya berupa retak rambut. Pada saat ultimate, kerusakan yang terjadi pada beban tekan 5 δy , menunjukkan retak menyeluruh sepanjang tinggi balok dan selimut beton telah hancur. Pada akhir percobaan, kerusakan specimen lebih berat, beton mengalami kehancuran pada daerah pangkal balok sehingga kekuatan beton tidak lagi dapat menahan beban.

Kata Kunci : Pemodelan Beton, Pembebanan Siklik, Kerusakan beton

PENDAHULUAN.

Kejadian-kejadian gempa yang melanda beberapa daerah di Indonesia dan menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana di daerah yang terkena dampak bencana tersebut, mendorong para ahli pemenuhan terhadap kaidah-kaidah perencanaan/pelaksanaan system struktur tahan gempa.

Upaya-upaya yang dilakukan adalah berupa percobaan-percobaan eksperimental di laboratorium untuk mengetahui perilaku struktur beton bertulang, apakah pada saat gempa terjadi bangunan tersebut dapat bertahan terhadap keruntuhannya.

Dari percobaan-percobaan tersebut perlu diketahui kekuatan dan mekanisme kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur akibat pembebanan yang ditimbulkan oleh beban bolak balik (siklik).

Perilaku struktur beton tersebut sangat kompleks, yaitu mencakup kekuatan struktur dan kekuatan

bahan yang direncanakan oleh perencana dan dilapangan berbeda. Salah satu perilaku struktur yang penting untuk diketahui yaitu kemampuan struktur untuk meredam energi yang disebabkan beban yang dapat menyebabkan keruntuhan struktur beton tersebut.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui perilaku kegagalan lentur pada elemen balok beton bertulang serta mengetahui besarnya beban saat retak awal (first crack), beban saat runtuh dan pola retak.

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan koral atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan.

Kekuatan tekan beton sangat tinggi sebaliknya beton relatif merupakan material yang mudah retak karena tegangan tariknya kecil bila dibandingkan

dengan tegangan tekannya. Untuk itu beton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi. Kuat tekan beton diperoleh melalui pengujian benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Pemakaian beton sangat luas karena beton mempunyai keunggulan dari materi struktur yang lain seperti dari segi ketersediaan material dasar, kemudahan untuk digunakan dan kemampuan beradaptasi.

Persyaratan Kekuatan

Penerapan factor keamanan dalam struktur bangunan disatu pihak bertujuan untuk mengedalikan kemungkinan terjadinya runtuh yang membahayakan penghuninya, dilain pihak juga memperhitungkan factor ekonomis bangunan. Sehingga untuk mendapatkan factor keamanan yang sesuai, perlu ditetapkan relative yang ingindicapai untuk dipakai sebagai dasar konsep factor keamanan. Struktur bangunan dan komponen-komponennya harus direncanakan untuk memikul beban lebih diatas beban yang diharapkan bekerja. Kapasitas lebih yang disediakan memperhitungkan dua keadaan, yaitu kemungkinan terjadinya penyimpangan kekuatan komponen struktur akibat bebandasar atau juga proses pengerjaan yang kurang memenuhi syarat.

Energi Struktur

$$W = F \times S$$

di mana :

W = Energi

F = Gaya (KN)

S = Jarak perpindahan (mm)

Persamaan energi dalam struktur akibat gempa dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$E = W_e + W_h + W_p$$

di mana :

E = energi total akibat gempa terhadap struktur

W_e = energi elastik, yaitu jumlah energi kinetik dan energi elastik

W_h = energi yang diserap oleh sistem redaman

W_p = energi regangan plastik kumulatif

Struktur yang dibebani dengan beban siklik, energi yang diserap dalam satu siklus pembebanan adalah jumlah dari energi yang diserap pada saat struktur menerima beban tekan dan energi yang diserap pada saat menerima beban tarik sehingga total energi yang terdisipasi selama pembebanan siklik

berlangsung merupakan luas daerah dalam loop kurva beban-defleksi.

METODE PENELITIAN

Benda uji yang dibuat sebanyak 3 (tiga) buah berupa struktur kantilever beton bertulang dengan data-data seperti dibawah ini :

Balok, dimensi 150 mm x 300 mm panjang 1250 mm

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban siklik pada ujung balok yang disimulasikan dengan alat MTS yang terdiri dari hydraulic actuator yang dilengkapi oleh load cell dan micro console control, 2 (dua) buah dial gauge untuk mengukur lendutan dan strain gauge yang dipasang pada baja tulangan untuk mengetahui regangan yang terjadi.

Tiap siklus terdiri dari satu putaran pembebanan, positif dan negatif. Dari kurva hubungan beban-defleksi lateral, ditentukan nilai yield displacement yang digunakan sebagai patokan nilai untuk pembebanan tahap kedua yakni tahap displacement controlled. Tahap displacement controlled adalah tahap dimana defleksi lateral pada masing-masing siklus didasarkan pada nilai displacement ductility factor. Tiap siklus pada tahap displacement controlled ini dilakukan sebanyak dua kali putaran pembebanan. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari . Benda uji ditempatkan pada loading frame baja, dengan kolom dalam posisi mendatar di atas perletakan. Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa ITB Bandung. Pada percobaan spesimen dengan pembebanan siklik adalah pembebanan yang dilakukan pada spesimen secara terus menerus sampai spesimen mencapai keruntuhan. Dari hasil percobaan ini didapat data beban dan defleksi pada setiap perilaku spesimen.

Dalam percobaan ini beton dirancang menggunakan mutu beton $f_c' = 35$ Mpa dan mutu baja tulangan $f_y = 400$ Mpa. Percobaan ini dilakukan terhadap beberapa benda uji balok bertulang dengan spesifikasi sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Beton

Kuat tekan benda beton masing-masing benda uji ditentukan sebagai berikut :

Hasil yang didapat dari tes uji beton sebagai berikut;

Tabel 1. Hasil Uji Beton Benda Uji

No.	Kuat Tekan f'_c (Mpa)
1	27,22
2	32,49
3	32,88
Rata-rata : $f'_c = 30,86$ MPa	

2. Hasil Pengujian Tarik Tulangan

Hasil pengujian baja tulangan berdasarkan uji tarik adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Uji Tarik Tulangan

	Test 1	Test 2	Test 3
Berat	0,75 kg	0,75 kg	0,75 kg
Diameter	505 mm	507 mm	503 mm
Beban leleh	98 KN	97,25 KN	97,825 KN
Regangan leleh	2584,78 μ	2555,13 μ	2586,82 μ
Beban Ultimate	134,286 KN	131,429 KN	132,857 KN
Rata-rata Tegangan leleh : 515,12 Mpa			
Rata-rata regangan leleh : 2575,58 μ			

3. Hasil Percobaan dengan Pembebanan Siklik

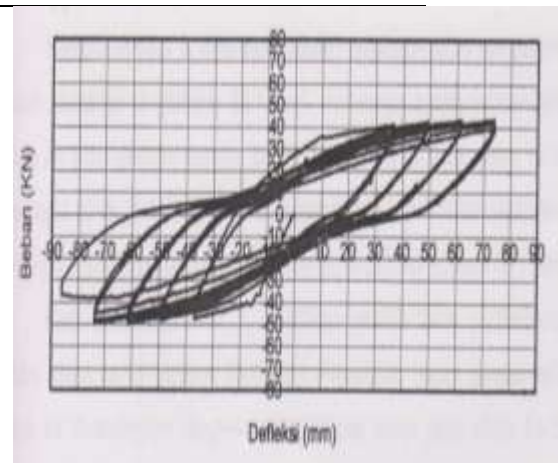
Beban leleh (P_y) dan defleksi leleh (δ_y) spesimen pada percobaan ini didapat pada saat percobaan dilakukan, yaitu pada saat regangan baja tarik (pada posisi strain A_1) memberikan harga sebesar $\epsilon_1 = f_y/E_a = 0.0025756$.

Daktilitas pengamatan dalam percobaan ini adalah perbandingan antara defleksi maksimum yang diberikan pada setiap siklus dengan defleksi leleh, dalam percobaan ini diambil 2, 3, 4, 5, 6, 7 kali defleksi leleh.

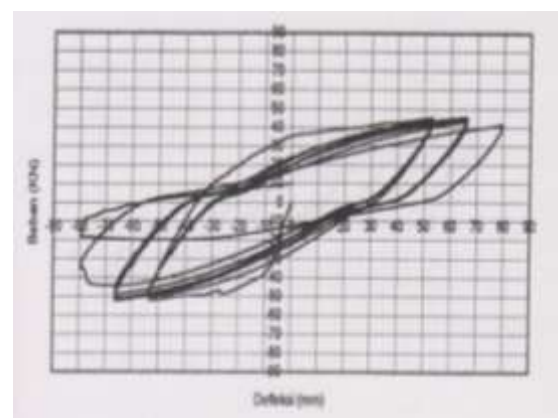
Beban ultimate diperoleh dari beban puncak tekan yang paling besar dari seluruh siklus pembebanan. Dari hasil percobaan siklik, besar beban leleh (P_y), beban batas (P_u), defleksi leleh (δ_y) dan defleksi ultimate (δ_u), beban puncak pada setiap arah, dan grafik beban-defleksi dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 3. Beban dan Defleksi Hasil Percobaan Siklik

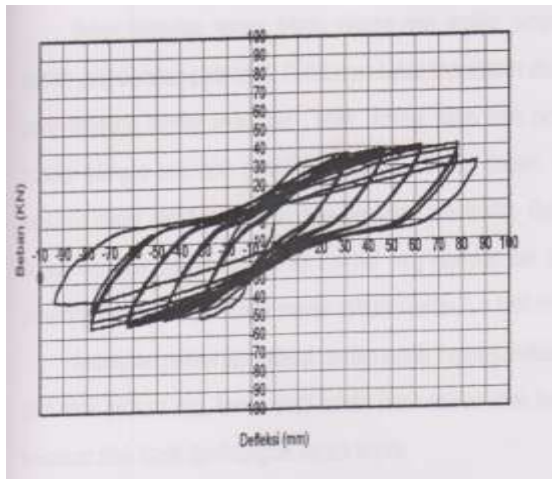
	P (KN)		δ (mm)	
	P_y	P_u	δ_y	δ_u
Uji 1	40,4	51,6	13,32	66,1
Uji 2	36,23	49,63	12,3	61,5
Uji 3	41,2	53,83	15,6	62,4



Gambar 1 . Grafik Beban – Defleksi Percobaan Siklik 1



Gambar 2 . Grafik Beban-Defleksi Percobaan Siklik 2



Gambar 3. Grafik Beban-Defleksi Percobaan Siklik 3

4. Analisa Hasil Percobaan

Hasil percobaan siklik memperlihatkan bahwa dalam suatu daerah pengamatan kemampuan struktur dalam menahan beban semakin mengecil pada siklus pembebanan berikutnya. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh penurunan dari kekakuan dari specimen setelah beton mengalami retak. Seiring dengan semakin banyaknya siklus pembebanan retak yang terjadi semakin banyak, maka penurunan kekakuanpun semakin kecil yang menyebabkan perbedaan penurunan kekuatan semakin besar.

Beban puncak yang dicapai specimen berbeda pada setiap kondisi daktilitas pengamatan yang sama, perbedaan ini disebabkan pola pembebanan yang diberikan berbeda pada setiap specimen dan juga defleksi leleh yang diperoleh pada saat specimen juga berbeda.

Pada kondisi daktilitas pengamatan 3 beban puncak yang dicapai specimen percobaan siklik 3 lebih besar dibandingkan dengan beban puncak yang dicapai percobaan siklik 2, hal ini disebabkan pola pembebanan dan δ_y yang berbeda pada kedua specimen. Pada kondisi daerah pengamatan ini percobaan siklik 3 dilakukan sampai defleksi 46,8 mm sedangkan pada percobaan siklik 2 hanya sampai batas defleksi 36,9 mm. Dari data percobaan 3 pada defleksi yang sama yaitu 36,9 mm beban yang dicapai 22,09 KN, ini berarti bahwa pada kondisi defleksi yang sama beban puncak percobaan 2 lebih dari beban dari yang dicapai percobaan 3.

Pada kondisi daktilitas pengamatan 4, beban puncak yang dicapai percobaan 1 lebih besar dari beban puncak yang dicapai percobaan 2 akan tetapi lebih kecil dari beban puncak yang dicapai

percobaan 3. Perbedaan ini disebabkan oleh defleksi leleh yang dicapai masing-masing specimen berbeda sehingga yang dicapai berbeda-beda.

Penurunan beban puncak yang dicapai specimen pada siklus berikutnya ternyata penurunan beban puncak yang dicapai percobaan 1 jauh lebih besar dibandingkan penurunan beban puncak percobaan 2 dan 3. Sedangkan penurunan beban puncak 2 lebih besar dari percobaan 3. Artinya bahwa penurunan kekakuan specimen percobaan 1 jauh lebih besar dibandingkan percobaan 2 dan 3.

Dari uraian di atas ternyata semakin besar pola pembebanan yang diberikan maka semakin besar pula beban puncak yang dicapai specimen pada setiap siklus pembebanan.

Energi Kumulatif yang didapat pada percobaan siklik ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Energi Kumulatif Percobaan Siklik

	Percobaan Siklik		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Energi Kumulatif	32259,7	41766,7	42024,3

Pada pembebanan siklik energi kumulatif yang dapat diserap oleh specimen yang diberi beban awal dan memberikan defleksi lebih besar, memberikan angka penyerapan energi yang lebih kecil dibandingkan dengan specimen yang dibebani awal dengan beban yang memberikan defleksi yang lebih kecil. Disini terlihat bahwa beban awal semakin besar dalam arti memberikan defleksi dalam kelipatan defleksi leleh yang lebih besar akan mengakibatkan degradasi kekuatan specimen yang besar dan menimbulkan penurunan energi yang besar pula.

Tabel 5. Energi pada setiap Kondisi Siklik

Jenis Pembebanan	Energi leleh (KNmm)	Energi Ultimate (KNmm)	Energi Failure (KNmm)
Siklik 1	247,0	16776,1	32159,7
Siklik 2	207,0	18482,9	41766,7
Siklik 3	301,0	28400,8	42024,3

Dari tabel di atas dapat diamati bahwa pada kondisi leleh, energi akibat pembebanan siklik perbedaannya relatif kecil. Perbedaan ini disebabkan oleh pola yang diberikan pada specimen dan perbedaan defleksi leleh yang dicapai specimen.

Pada kondisi ultimate dan failure terlihat bahwa disipasi energi specimen pada percobaan 1 lebih kecil dari percobaan 2 dan 3. Dan disipasi energi yang dicapai pada percobaan 2 lebih kecil dari percobaan 3. Hal ini disebabkan pada pembebanan siklik selalu mengalami pengulangan yang menguntungkan bagi specimen guna memberikan perlawanan terhadap pembebanan sewaktu perubahan beban pada setiap siklus.

5. Kerusakan Struktur

Dari hasil pengamatan visual selama percobaan berlangsung, kerusakan specimen dapat diamati sebagai berikut : Pada saat kondisi leleh, specimen tidak menunjukkan kerusakan yang berarti. Retak yang terjadi belum melebar dan sebagian besar retak tersebut hanya berupa retak rambut.

Pada saat ultimate, kerusakan yang terjadi pada beban tekan 5 δ_y , menunjukkan retak menyeluruh sepanjang tinggi balok dan selimut beton telah hancur.

Pada akhir percobaan, kerusakan specimen lebih berat, beton mengalami kehancuran pada daerah pangkal balok sehingga kekuatan beton tidak lagi dapat menahan beban.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan selama percobaan dan dari analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan beban kapasitas dan energi yang terdisipasi dengan pola pembebanan specimen yang dibebani secara siklik, sebagai berikut:

1. Kekuatan struktur dipengaruhi oleh retak yang terjadi pada specimen. Sebelum terjadi retak kekuatan struktur sepenuhnya dipikul beton dan tulangan. Semakin besar beban yang dipikul struktur, retak semakin besar mengakibatkan kekuatan struktur semakin menurun.
2. Semakin besar beban awal pada percobaan siklik, beban puncak yang dicapai semakin besar, penurunan beban puncak semakin besar, disipasi energi semakin kecil dan tingkat kerusakannya semakin berat.

2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut specimen sebaiknya specimen dibuat dalam jumlah yang banyak agar karakteristik specimen lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Iswandi Imran., Fajar Hendrik, 2010, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Penerbit ITB.
- Park, R., and Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons.
- Paul Nugraha, Antoni., 2007, *Teknologi Beton*, Penerbit Andi.
- Phil M. Fergunson., *Reinforced Concrete Fundamentals*, Fourt Edition, New York Chichester Brisbane Toronto.